

## 乗り心地と動作の曲線の連続性

著者	熊谷 正朗
雑誌名	プラントエンジニア
巻	50
号	10
ページ	72-73
発行年	2018-10
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1204/00024132/">http://id.nii.ac.jp/1204/00024132/</a>

## 乗り心地と動作の曲線の連続性

自分で車を運転しているときは、乗り心地はあまり気にならないものですが、バスや鉄道などに乗ったときなどには、良し悪しを感じます。自分で運転するときは今後の挙動を予想できるためと聞きますが、運転によって感じ方が違うのは、何によるのでしょうか。

そもそも、乗り物に乗っているときの揺さぶられる感覚は、慣性力によります。運動の法則により、力のかかっていない物は一定速度・方向で動き続けようとしています。たとえば車が減速するときには、乗る人は同じ速度で移動しようとしています。これを車内で見ると、車に対して人は前に引っ張られるように見え、あるいは人を車と同様に減速させるには座席の摩擦やベルトで後ろに引く必要があります。加速するときは逆に、同じ速度（最初は静止）の人に対して、車が先に行こうとするので、車に対しては人が後ろに行こうとします。そして、この力は車の加速度に比例します。このように直線的な力の他に、遠心力も同様で、本来直線的に動くところを、車両だけがカーブにそって曲がることで、車内の人はその反対方向＝中心から遠い方に引かれるように見えます。このあたりは14年12月号でもう少し詳しく書きました（「自動車の乗り心地と機器の運転速度」でご検索ください）。

さて、では、この慣性力が単に乗り心地の良し

悪でしょうか？ 一定加速中・減速中の乗り物（たとえば新幹線）は前後に引かれる感じはしますが、乗り心地が悪いわけではありません。カーブ中のバスでも、外側に一定の力がかかる分にはそれに耐えるだけです。しかし、加減速を繰り返したり、急にカーブしたりすると、この慣性力が変化し、前後左右に揺さぶられることとなります。つまり、慣性力の変化＝加速度の変化の程度や変化傾向が乗り心地にかかわります。この加速度の変化の量には「躍度（やくど）」、「加加速度」、「ジャーク（jerk）」という名前があります。位置の時間変化（時間微分）である速度、速度の時間変化である加速度、そのさらに時間変化です。

さて、ここまででは「乗り心地」と人間の感覚で話しましたが、これは機械にとっても同じことです。生産設備などで往復運動するようなもの、移動停止を繰り返すようなものがありますが、そこには同じ現象＝移動させられている物に慣性力やその変化が加わります。生産数アップのため、往復の回数を増やすとそれに応じて加速度が高くなり、移動する各部に作用する慣性力も大きくなって無視できなくなります。また、一定の加速度は単なる力ですが、往復機械では周期的に加速度・慣性力が変化し、周期的な力をかけることになるので、これが振動を引き起こすことになります。言い換えれば振動が問題になるような場合は速度パター

**熊谷正朗** —KUMAGAI MASA-AKI—

東北学院大学 工学部 機械知能工学科 教授

東北学院大学工学部 教授／仙台市地域連携フェロー(ロボットメカトロ系担当)。2000年東北大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、同大助手。03年東北学院大学講師、助教授、准教授を経て、現在に至る。ロボメカ系開発を専門とし、メカの設計からマイコンやサーバのソフト開発までを行う。「基礎からのメカトロニクス講座」や地域企業訪問も実施中。



ンも、加速度が小さくなるよう、躍度を押さえて加速度が急変しないよう検討する必要があります。

この動作パターンの一つの重要な観点は連続性です。時間とともに状態が変化するとき、値が連続的か、急に別の値に変わるか、という見方です。たとえば、なにかの運動を表す、横軸が時刻、縦軸が位置のグラフを考えましょう。ある時刻で線が途切れて上下に飛ぶ、つまり位置が一瞬で変化するような運動は可能でしょうか？ これは現実的には無理で、俗な言葉で言えばワープです。つまり位置の変化を表す線は連続でなければなりません。それに反して、このような指令を機械に送ると期待どおり動作せず、近い動作ができた場合は無理な負担が各所に生じます。

つぎは速度です。同じく速度が一瞬で変わるような状況は可能かという無理です。自動車で信号が青になったからと一瞬で時速40キロにはできず、一瞬の停止もできません(衝突事故が近い)。速度も無難に連続であることが必要です。モータの運転では、台形加減速のような明確に加減速を含む速度パターンで、少なくとも速度の連続性を確保しています。また、速度は位置のグラフの傾きに当たります。位置のグラフは、それ自体が連続であり、かつ、傾きが急に変わらず、角のない滑らかなグラフである必要があります。

つぎは加速度の連続性です。前述のように、加

速度の急な変化では慣性力が急に変わる問題が生じるので、やはり連続性が必要で、関連して速度のグラフは滑らかであるべきです。ところが、一般に用いられる台形加減速では、速度に明確に角があります。たとえば加速開始時と加速を終えて一定速度になる点では、急に加速度がある指定値になり、ゼロに戻ります。これを解消し、速度のグラフを滑らかにすることがS字加減速法の利点です。

では、これ以上の連続性は必要でしょうか。これはメカ特性によります。たとえば、玉乗りロボットのような移動で姿勢のバランスを取るもの場合は、移動の加速度と、機体の傾斜角に比例に近い関連性があります。自然な動きをするには、その傾斜角のほうでも角加速度まで連続性・滑らかさが必要となるため、位置には5回微分してもまだ連続な変化が求められるといいます。また、動作のパターンを一気に端から端まで用意するのではなく、部分部分を用意してつなぐこともよくありますが、そのつなぎ目で値をそろえ、段差ができないようにする必要があります。おそらく、S字加減速は、入口と出口を「速度一定」にして速度を変化させるパターンを用意しているので、比較的楽だと思いますが、複雑に動くロボットの場合はより任意に組み合わせられる工夫をすることもよく見られます。